

## KERENTANAN PENYUSUPAN AIR LAUT DI PESISIR UTARA PULAU TERNATE (*Vulnerability of Sea Water Intrusion in Northern Coastal of Ternate Island*)

Rahim Achmad<sup>1\*</sup>, Muhammad Pramono Hadi<sup>2</sup> dan Setyawan Purnama<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun,  
Jl. Bandara Babullah, Ternate 97714.

<sup>2</sup>Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Yogyakarta 55281.

\*Penulis korespondensi. Tel: +62-85228567894. Email: diditernate71@gmail.com.

Diterima: 15 Oktober 2015

Disetujui: 1 Februari 2016

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir bagian utara Pulau Ternate, dengan tujuan mengetahui kedalaman batas kontak airtanah dengan air laut dan menganalisis akuifer serta cara pengambilan airtanah sehingga tidak terjadi penyusupan air laut ke dalam tubuh airtanah. Sampel air sumur diukur untuk mengetahui kadar salinitas dan daya hantar listrik (DHL). Kedalaman batas kontak airtanah dengan air laut diukur dengan menggunakan metode geolistrik. Hasil pengukuran DHL dan salinitas airtanah di wilayah pesisir utara menunjukkan, terdapat penyusupan air laut di Desa Tobolo dan Sulamadaha, dengan rentang nilai masing-masing antara 0,5-3,3 mS/cm dan 0,2-1,7 ppt. Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan batas kontak airtanah dengan air laut rata-rata antara 12-15 m dari permukaan. Nilai resistivitas air laut berkisar antara 0,01-20  $\Omega$ m. Hasil penelitian ini memberikan peringatan untuk tidak melakukan pengeboran sumur di wilayah pesisir. Sebagai contoh kasus, pengeboran sumur hingga 80 m dengan jarak sekitar 250 m dari garis pantai di Desa Takome, di mana batas kontak airtanah dengan air laut pada kedalaman 15 m. Pengukuran nilai DHL dan salinitas air dari sumur ini menunjukkan masing-masing 6,1 mS/cm dan 3,3 ppt. Nilai ini menunjukkan kedalaman sumur bor telah melewati zona pencampuran antara airtanah dengan air laut (*interface*).

**Kata kunci:** batas kontak air, geolistrik, kualitas air, penyusupan air laut.

### Abstract

*This research was conducted in the coastal areas of northern part of Ternate island, in order to know the depth of interface and to analyze the aquifers and to avoid seawater intrusion caused of groundwater extraction. Well water samples were measured to determine levels of salinity and DHL. The depth of interface was measured using geoelectric method. The results of electrical conductivity (EC) and salinity of groundwater measurement in the northern coastal area showed that, there is infiltration of sea water in Tobolo and Sulamadaha. The EC and salinity values ranging between 0.5-3.3 mS/cm and 0.2-1.7 ppt respectively. The geoelectric measurement results showed that the depth of interface ranging between 12-15 m from the surface. The resistivity of saline water values ranging between 0.01-20  $\Omega$ m. This research provides a warning for not drilling well in coastal areas. For example case, a drilled well with a depth 80 m, located about 250 m from the shoreline in village Takome, where the depth of the interface is 15 m. The value of EC and saline water were measured from this drilled well showed 6.1 mS/cm and 3.3 ppt respectively. This value indicates the depth of the drilled well has exceeded the interface zone.*

**Keywords:** sea water intrusion, interface, water quality, geoelectric.

### PENDAHULUAN

Sumber daya utama air di pulau kecil umumnya adalah airtanah dangkal atau airtanah dalam yang jumlahnya terbatas. Air permukaan seperti sungai, danau, dan laguna, jarang ditemukan. Sungai di pulau kecil biasanya bersifat *intermittent* dan jarang yang *perennial*, mengingat sifat daur hidrologinya yang pendek. Danau di pulau kecil umumnya hanya terdapat di pulau vulkanik saja. Danau ini biasanya terjadi karena aktivitas gunungapi yang menyebabkan adanya kaldera atau karena erupsi sampling. Delinom dan Lubis (2007), menjelaskan

bahwa sumber daya air pulau kecil berasal dari air atmosferik (hujan), air permukaan dan airtanah. Airtanah di pulau-pulau kecil merupakan lensa yang mengapung di atas air payau atau air asin, dengan ketebalan yang sangat tergantung pada imbuhan, dan rentan terhadap penyusupan air laut (Hehanusa dan Bakti, 2005; Falkland, 2014).

Keberadaan airtanah di pulau kecil yang pemanfaatannya dimaksimalkan oleh penduduk, cepat atau lambat akan berhadapan dengan masalah penyusupan (*intrusion*) air laut. Penyusupan air laut didefinisikan oleh Gaaloul dkk., (2012) serta oleh Werner dan Simmons (2009) sebagai dilewatinya

batas kontak air laut ke tubuh airtanah di akuifer wilayah pesisir. Penyebab utama terjadinya penyusupan air laut dikarenakan tidak setimbangnya antara pengambilan airtanah di wilayah pesisir yang berlebihan dan tidak memperhitungkan kemampuan batuan dalam mengembalikan airtanah. Ruang antar butir di lapisan akuifer sebagai media penyimpan airtanah, akan diisi oleh air laut ketika airtanah diambil berlebihan.

Air hujan sebagai satu-satunya sumber masukan air untuk pulau kecil, luas pulau sangat menentukan kemampuan menampung air. Dengan demikian pengambilan airtanah yang tidak terkontrol di suatu pulau kecil akan menyebabkan terjadinya penyusupan air laut. Isu hebat yang menghadang kondisi pulau kecil sekarang adalah perubahan iklim yang menyebabkan kenaikan muka air laut. Kenaikan muka air laut sangat berpengaruh pada airtanah wilayah pesisir khususnya pulau kecil.

Guha dan Panday (2012), menyebutkan hasil berbagai riset tentang kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim, diperkirakan muka air laut akan naik sekitar 0,6-2,1 m hingga tahun 2100. Lebih lanjut, Guha dan Panday (2012) menjelaskan hasil simulasinya, dengan memodelkan kenaikan muka air laut dari 0,6; 0,9 dan 1,2 m, maka rata-rata konsentrasi klorida di sumur pantau bertambah dari 100-600%. Ini berarti kenaikan muka air laut, sangat berpengaruh pada airtanah di wilayah pesisir. Untuk pulau yang sangat kecil, bahkan diperkirakan akan tenggelam atau hilang. Numberi (2009), memperkirakan sekitar 65% pulau kecil di Indonesia akan hilang akibat kenaikan muka air laut.

Berbagai metode yang digunakan untuk meneliti kondisi airtanah wilayah pesisir dan pulau kecil di antaranya, hidrogeokimia, geofisika, model matematika, Sistem Informasi Geografi (SIG), metode numerik atau perpaduan di antara metode-metode tersebut. Abdullah dkk. (2010) menggunakan metode numerik untuk mensimulasikan penyusupan air laut di Pulau Sepadan, dengan membuat pengisapan pompa yang dalam mendekati batas kontak airtanah-air laut. Hasil analisis numerik menunjukkan 2,5% isoklor bergerak sekitar 63,4 m bergerak ke arah pesisir. Perpaduan antara metode SIG dengan DRASTIC (*Depth to water, Recharge, Aquifer media, Soil type, Topography, Impact of vadose zone media, dan Conductivity*), digunakan oleh Brahim dkk., (2012), yang hasilnya memberikan informasi keruangan mengenai peta kerentanan dan peta bencana intrusi air laut di Tunisia. Untuk mengetahui penurunan tingkat intrusi air laut di Semarang, Miswadi (2010) menggunakan Lubang Resapan Biopori (LRB). Dengan LRB, maka dapat diukur rasio bikarbonat klorida, Daya Hantar Listrik (DHL) dan salinitas sampel.

Sistem akuifer Pulau Ternate sebagai pulau gunungapi kecil, bekerja berdasarkan koneksi antar butir atau rekahan (Todd dan Mays, 2005). Begitu pula dengan satuan umur batuan (Bronto dkk., 1982), yang dihubungkan dengan sistem akuifer, kesemuanya ini kaitannya dengan keberadaan airtanah. Keberadaan airtanah dalam batuan pulau gunungapi yang diatur sistem akuifer, akan merekam proses transportasi airtanah dengan dinamikanya tersendiri. Santosa (2010), menjelaskan dinamika dan karakteristik airtanah dalam akuifer paling tidak dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti genesis yang menunjukkan asal usul batuan dari masa lampau, lingkungan fisik di mana batuan diendapkan, komposisi mineral batuan penyusun akuifer, pola aliran airtanah dalam akuifer dan lama airtanah mengendap atau terjebak dalam lapisan akuifer.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka yang menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui kondisi akuifer wilayah pesisir dan bagaimana kondisi batas kontak airtanah dengan air laut di bagian utara Pulau Ternate. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kedalaman batas kontak airtanah dengan air laut dan menganalisis akuifer serta cara pengambilan airtanah di bagian utara Pulau Ternate sehingga tidak terjadi penyusupan air laut ke dalam tubuh airtanah.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi

Pengambilan data penelitian dilakukan selama dua pekan dan lokasi penelitian berada di bagian utara Pulau Ternate. Batuan di bagian utara Pulau Ternate termasuk dalam klasifikasi batuan Gamalama Muda (Gm). Berdasarkan kondisi geologinya, lokasi penelitian termasuk dalam sistem akuifer dengan media alir rekahan dan ruang antar butir. Rekahan ini terbentuk dari kekar batuan, pengaruh tektonik dan aktivitas vulkanik. Analisis kerentanan penyusupan air laut dilakukan dengan mengambil data geolistrik dan data fisik airtanah (DHL, salinitas dan muka airtanah). Lintasan pengukuran geolistrik dan pengambilan sampel air airtanah, dalam penelitian ini dilakukan secara *purposive sampling*.

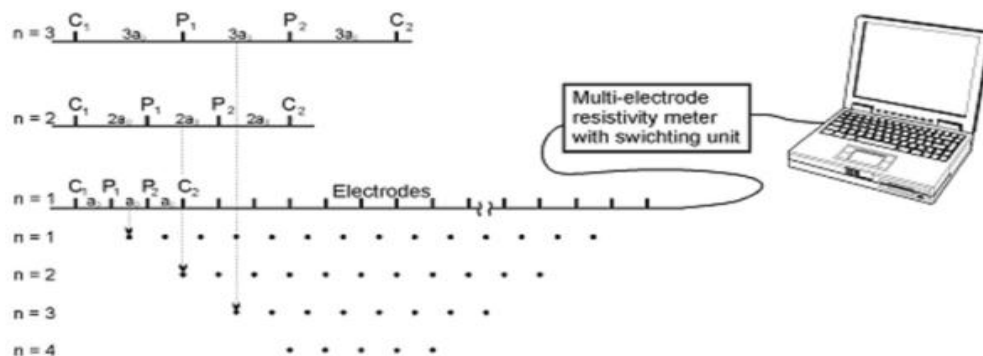
### Pengukuran Fisik Airtanah

Pengukuran fisik airtanah adalah DHL, salinitas dan muka airtanah yang memberikan indikasi adanya penyusupan air laut. Pengukuran fisik airtanah dilakukan di pesisir pantai hingga wilayah terjauh menuju daratan/ketinggian di mana sumur gali atau sumur bor masih ditemukan. Pengukuran fisik airtanah menggunakan alat

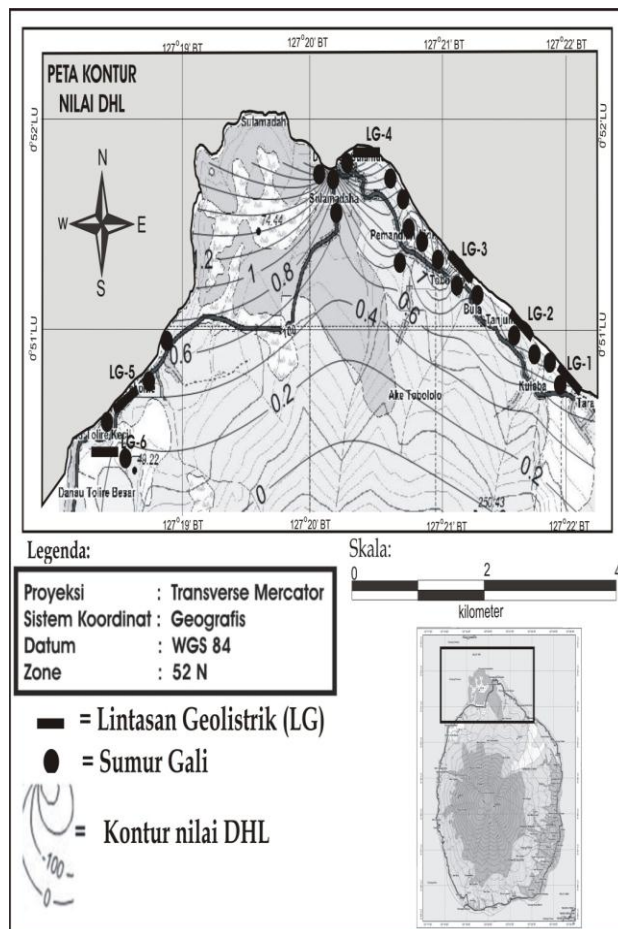
pengukur kualitas air. Hasil pengukuran ini kemudian disajikan dalam kontur sebaran DHL, salinitas dan pola aliran airtanah.

### Pengukuran Geolistrik.

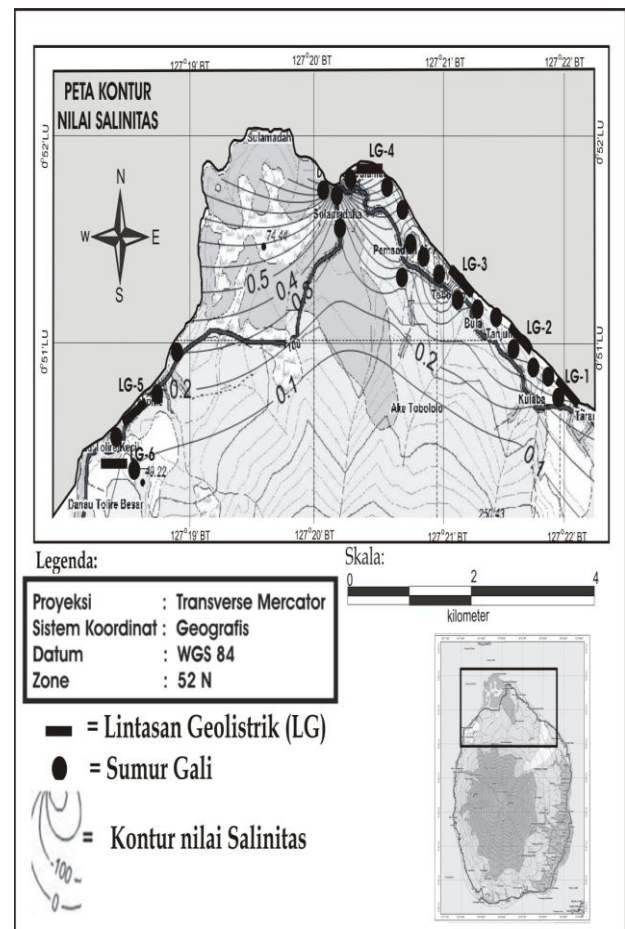
Prinsip dasar geolistrik merupakan metode yang menggunakan sifat fisik batuan terhadap listrik yang diinjeksikan ke dalam bumi sebagai penghantar arus listriknya. Saat diinjeksikan aliran listrik, maka bumi akan merespon balik sesuai sifat fisik batuan. Susunan konfigurasi elektroda untuk pengambilan data geolistrik terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Susunan konfigurasi elektroda dalam geolistrik 2D multi elektroda (Achmad, 2014).



**Gambar 2.** Peta kontur sebaran DHL.



**Gambar 3.** Peta kontur sebaran salinitas.

Hasil pengukuran fisik airtanah (DHL, salinitas dan tinggi muka airtanah) dari 21 sampel sumur, menunjukkan terjadinya anomali nilai DHL dan salinitas airtanah di desa Tobolo dan Sulamadaha. Kontur sebaran kedua nilai ini terlihat sangat rapat yang berarti tingginya nilai anomali. Rentang nilai DHL dan salinitas di lokasi pengukuran masing-masing berkisar antara 0.5-3,3 mS/cm dan 0,2-1,7 ppt. Hasil pengukuran ini kemudian disajikan dalam kontur sebaran (DHL dan salinitas) seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.

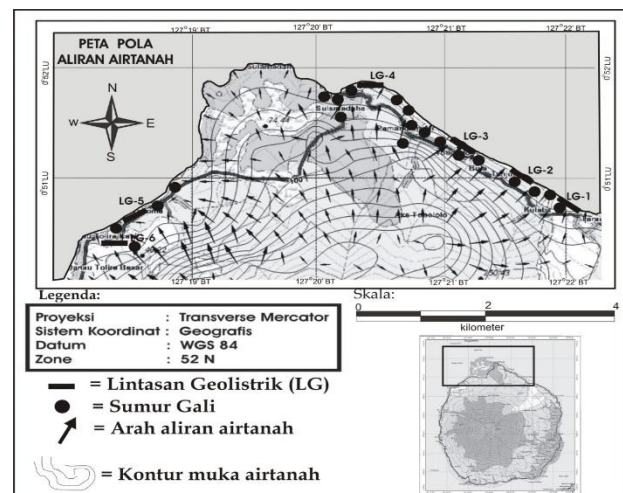
Untuk mengetahui kedudukan dan pergerakan airtanah, maka data-data ketinggian muka airtanah (freatik) dari sumur gali dan sumur bor di plot dalam bentuk kontur ketinggian muka airtanah. Todd dan Mays (2005) serta Fetter (2014), menjelaskan berdasarkan garis kontur ini dapat ditentukan arah aliran airtanah bebas, yaitu dengan cara menarik garis tegak lurus ( $90^\circ$ ) memotong kontur airtanah bebas dari *hydraulic head* yang tinggi ke yang lebih rendah.

Model alir airtanah pada Gambar 4, dibuat berdasar data pengamatan sumur gali penduduk dan sumur bor dalam wilayah penelitian. Secara umum, sumur gali penduduk berada di daerah paling rendah di kaki gunung api. Ketinggian muka airtanah mengikuti bentuk topografi gunungapi. Makin jauh meninggalkan pesisir pantai makin dalam muka airtanah. Begitu juga pada sumur bor, akan lebih dalam, jika berada di ketinggian atau yang sudah berada di daerah tubuh gunungapi.

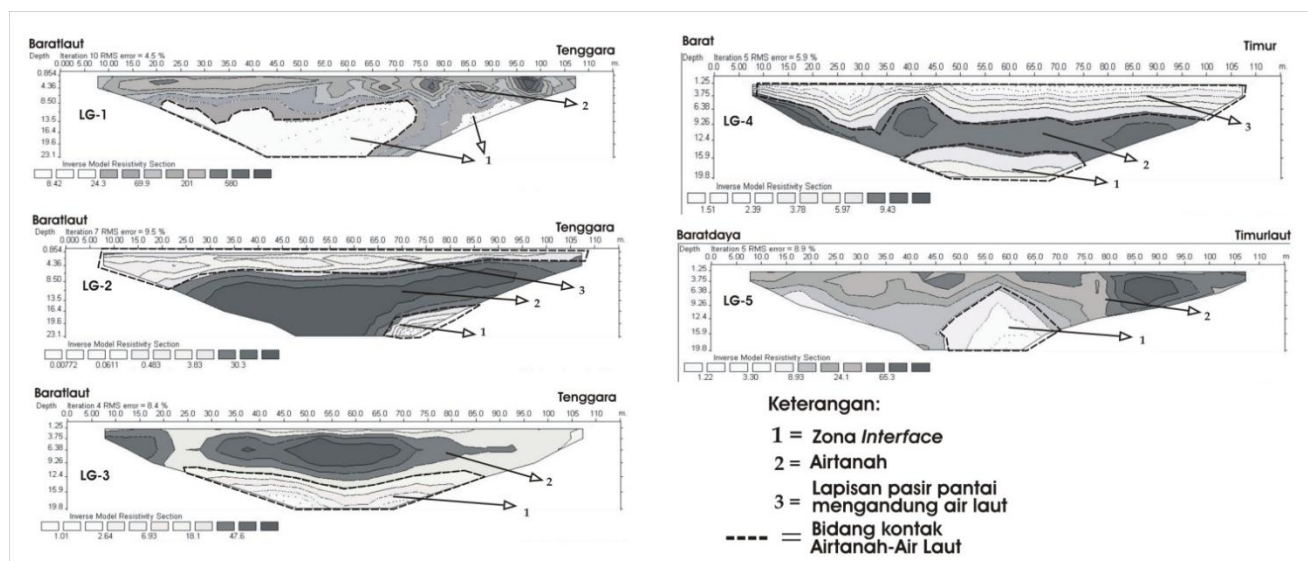
Dengan melihat arah aliran airtanah yang ditunjukkan lewat arah panah, pola aliran radial juga berlaku karena mengikuti pola topografi pulau. Hal ini sejalan dengan Achmad (2014) dan Purnomo (2009), yang menggambarkan pola aliran airtanah pulau gunungapi kecil di mana airtanah mengalir secara radial (menyebar) menuju pesisir pulau. Ketika berada di wilayah paling rendah (mendekati pantai) arah alir airtanah kembali menyebar secara merata ke seluruh batas daratan, hingga bertemu dengan air laut. Pada daerah yang cenderung bertopografi terjal, kontur muka airtanah semakin rapat. Ketika mencapai wilayah rendah dan cenderung datar pola kontur akan merenggang (Latief, 2005; Pontoh, 2007).

Hasil pengukuran geolistrik 2D yang disajikan dalam bentuk penampang lintasan dan arah bentangan kabel (Gambar 5). Hasil ini merupakan inversi numerik dari data yang diperoleh di lapangan. Pemodelan inversi ke depan memberikan informasi sebaran resistivitas bawah permukaan yang kedalamannya bergantung pada panjang lintasan kabel (Loke, 2004).

Pengukuran geolistrik dilakukan di 5 lintasan dekat garis pantai, untuk mengukur kedalaman batas kontak airtanah dengan air laut. Hasil pengukuran di 5 lintasan menunjukkan kedalaman batas kontak airtanah dengan air laut antara 12-15 m dari permukaan. Nilai resistivitas di zona *interface* berkisar antara  $0,01 \Omega\text{m}$  sampai di bawah  $20 \Omega\text{m}$  (warna cerah). Nilai resistivitas airtanah berkisar antara  $30\text{-}150 \Omega\text{m}$  (warna gelap).

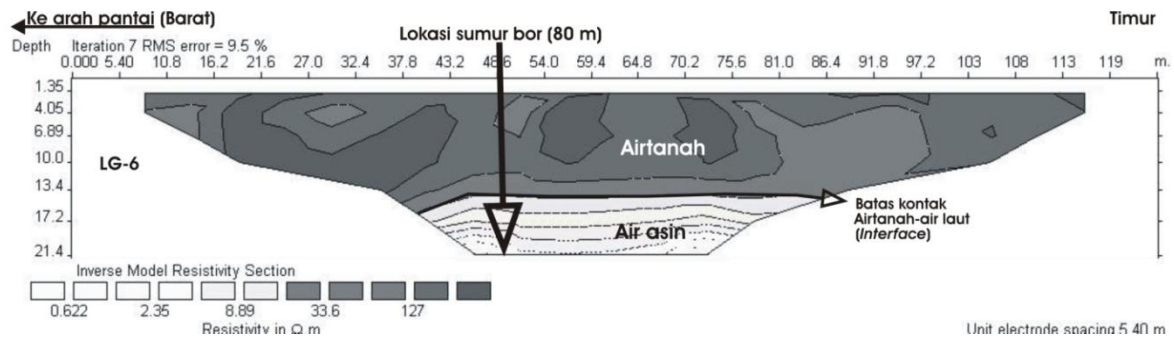


**Gambar 4.** Kontur sebaran muka airtanah dan pola alirannya.



**Gambar 5.** Hasil pengukuran geolistrik 2D (LG-1 – LG-5).





**Gambar 6.** Hasil pengukuran geolistrik 2D di lokasi sumur bor.

**Tabel 1.** Data fisik air sumur dibandingkan dengan sumur bor.

Parameter air	Sumur-1	Sumur-2	Sumur-3	Sumur bor
Suhu (°C)	26,9	27,24	27,07	28,51
pH	7,1	7,7	7,8	7,6
DHL (mS/cm)	0,382	0,493	0,213	6,09
Kekeruhan (NTU)	0	0	0	6,6
DO (mg/L)	5,69	7,96	10,6	8,5
Salinitas (ppt)	0,2	0,2	0,1	3,3
Kedalaman (m)	4,4	8,41	2,3	13

Sumber : Hasil analisis.

Dengan menganalisis hasil pengukuran fisik airtanah dan geolistrik di bagian utara Pulau Ternate, dapat dikatakan kondisi akuifer sangat rentan akan intrusi air laut. Pengambilan airtanah yang berlebihan dengan tidak memperhitungkan kemampuan batuan dalam mengembalikan airtanah (transmisifitas, storativitas, porositas dan permeabilitas), merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya intrusi airtanah. Di samping itu pengeboran airtanah yang dalam dan terlalu dekat dengan garis pantai akan menyebabkan terjadinya pencampuran air laut dengan airtanah karena melewati batas kontakannya (*interface*). Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik, batas aman pengeboran sumur sekitar wilayah pesisir pantai di bagian utara Pulau Ternate, adalah tidak lebih dari 10 m.

Sebagai contoh kasus yang terjadi di wilayah penelitian adalah pengeboran sumur untuk penyediaan air baku untuk masyarakat di Desa Takome. Lokasi sumur bor berjarak kurang lebih 250 m dari garis pantai. Sumur dibor hingga kedalaman 80 m. Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik di titik sumur bor, batas kontak airtanah dengan air laut berada pada kedalaman 15 m. Hasil pengukuran geolistrik (Gambar 6) menunjukkan, hingga kedalaman kurang dari 13 m, merupakan akuifer yang tersaturasi airtanah dengan nilai resistivitas antara 30-130  $\Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas air laut (*interface*) berkisar antara 0,6-8,9  $\Omega\text{m}$ .

Hasil pengukuran kualitas fisik air dari sumur bor menunjukkan perbedaan yang nyata antara air laut (*interface*) dengan airtanah dari sumur gali di sekitar sumur bor. Perbandingan data kualitas fisik air terlihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1, parameter fisik yang terlihat sangat berbeda adalah salinitas dan DHL antara air sumur gali dan sumur bor. DHL dan salinitas sumur bor sangat rendah dibandingkan air laut dan masih tinggi jika dibandingkan dengan air sumur gali. Hal ini menunjukkan bahwa air yang tersedot dari sumur bor masih termasuk dalam zona pencampuran airtanah dengan air laut. Jika penyedotan dilakukan di kedalaman ini, maka akan memancing naiknya airtanah dan masuk ke dalam tubuh air tawar (Sherif dkk., 2012)

## KESIMPULAN

Kondisi batuan (akuifer) di bagian utara Pulau Ternate menyebabkan rentan terjadi penyusupan air laut. Batas kontak airtanah dengan air laut rata-rata antara 12-15 m. Pengeboran sumur dalam wilayah pesisir pantai sebaiknya tidak melebihi 10 m.

Jika penyedotan airtanah dilakukan secara tidak terkontrol atau pengeboran dilakukan terlalu dalam maka akan terjadi penyusupan air laut ke dalam tubuh airtanah. Kasus pengeboran sumur dalam yang terjadi di Desa Takome, merupakan contoh nyata, kondisi hidrologi bagian utara Pulau Ternate yang sangat rentan akan penyusupan air laut.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M.H., Raveena, S.M., dan Aris, A.Z., 2010. A Numerical Modelling of Seawater Intrusion into an Oceanic Island Aquifer. *Journal Sains Malaysiana*, 39(4):525-532.

- Achmad, R., 2014. Groundwater Flow and Subsurface Structures of Small Volcanic Island Based on Geophysical Measurements. *Celebes International Conference on Earth Science*, Kendari, 10-11 November 2014.
- Brahim, F., Khanfir, H., dan Bouri, S., 2012. Groundwater Vulnerability and Risk Mapping of the Northern Sfax Aquifer, Tunisia. *Arab Journal Science Engineering*, 37(1):1405–1421.
- Bronto, S., Hadisantoso R.D., dan Lockwood, J.P., 1982. *Peta Geologi Gunungapi Gamalama, Ternate Maluku Utara*. Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Delinom R.M., dan Lubis R.F., 2007. *Airtanah di Pesisir dan Pulau Kecil*. Prosiding LIPI, LIPI Press, Jakarta, hal. 1-26.
- Falkland, A.C., 2014. *Climate Change 2014; Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, London, p.336.
- Fetter, C.W., 2004. *Applied Hydrogeology*. 4<sup>th</sup> edition, Mac Millan Publishing, New York.
- Gaaloul, N., Pliakas, F., Kallioras, A., Schuth C., dan Marinos, P., 2012. Simulation of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers. *The Open Hydrology Journal*, 6:31-44.
- Guha H., dan Panday S., 2012. Impact of Sea Level Rise on Groundwater Salinity in a Coastal Community of South Florida. *Journal of The American Water Resources Association*, 48(3):510-929.
- Hehanusa, P.E., dan Bakti, H., 2005. *Sumber Daya Air Pulau Kecil*. LIPI Press, Bandung.
- Latief., 2005. Kajian Airtanah Pulau Ternate, *Tesis* Fakultas Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
- Loke, M.H., 2004. *Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion Using The Least-Squares Method*, On Land, Underwater and Cross-borehole Surveys, Penang.
- Miswadi, S.S., 2010. Penurunan Tingkat Intrusi Air Laut Berdasarkan Chloride Bicarbonate Ratio Menggunakan Lubang Resapan Biopori. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 17(3):150-161
- Numberi F., 2009. *Perubahan Iklim, Implikasinya Terhadap Kehidupan di Laut, Pesisir dan Pulau Kecil*. Penerbit Fortuna, Jakarta, pp. 56-62.
- Pontoh, E.S., 2007. Kajian Potensi Airtanah Pulau Ternate Propinsi Maluku Utara. *Tesis* Fakultas Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Purnomo, B.J., 2009. *Laporan Evaluasi Potensi Cekungan Airtanah (CAT) Pulau Ternate*. Badan Geologi Lingkungan, Bandung, pp. 8-10.
- Santosa, L.W., 2010. Pengaruh Genensis Bentuk Lahan Terhadap Hidrostratigrafi Akuifer dan Hidrogeokimia dalam Evolusi Airtanah Bebas. *Disertasi*, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sherif, M., Sefelnasr, A., dan Javadi, A., 2012. Incorporating the Concept of Equivalent Freshwater Head in Successive Horizontal Simulations of Seawater Intrusion in the Nile Delta Aquifer, Egypt. *Journal of Hydrology*, 464-465:186-198.
- Todd, D.K., dan Mays, L.W., 2005. *Groundwater Hydrology*. 3<sup>rd</sup> Ed., John Willey and Sons, New York.
- Werner. A. D., dan Simmons, C.T., 2009. Impact of Sea-Level Rise on Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers. *Journal of Ground Water*, 47(2):197-204.